

# 高浓度中药提取有机废水资源化治理工程实例

汪林<sup>1,2</sup>, 张炜铭<sup>1,2</sup>, 吕路<sup>1,2</sup>, 刘国召<sup>2</sup>, 王林平<sup>2</sup>, 徐敬生<sup>2</sup>

(1. 南京大学环境学院 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 江苏 南京 210093;

2. 国家环境保护有机化工废水处理与资源化工程技术中心 江苏南大环保科技有限公司,  
江苏 南京 210046)

**摘要:** 中药提取物生产过程中产生大量的废水,成分复杂,有机物浓度高。采用新型高效厌氧池+改良型好氧(UCT)组合工艺处理此类废水,实际运行结果表明,该系统运行稳定,进水COD为15 000~25 000 mg/L时,COD平均去除率达98.8%,出水COD<100 mg/L,出水BOD<sub>5</sub>、氨氮及总磷平均浓度分别为18.0、6.50、0.386 mg/L。各项出水指标均满足园区污水处理厂纳管标准。

**关键词:** 中药提取废水; 高效厌氧反应器; UCT工艺; 沼气

**中图分类号:** X703.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)08-0120-05

## A Case Project for Treating High Strength Organic Wastewater from Chinese Traditional Medicine

WANG Lin<sup>1,2</sup>, ZHANG Wei-ming<sup>1,2</sup>, LYU Lu<sup>1,2</sup>, LIU Guo-zhao<sup>2</sup>, WANG Lin-ping<sup>2</sup>,  
XU Jing-sheng<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Pollution Control & Resource Reuse, School of the Environment, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 2. National Engineering Research Center for Organic Pollution Control and Resource, Jiangsu NJU Environmental Technology Co. Ltd., Nanjing 210046, China)

**Abstract:** A lot of wastewater containing high strength and complicated organic pollutants was produced during the process of Chinese traditional medicine extraction. With regard to the wastewater quality, the combination process including new anaerobic reactor and UCT was applied to treat the high strength organic wastewater from Chinese traditional medicine extraction process. The operation results showed that the influent and effluent COD were 15 000–25 000 mg/L and 100 mg/L respectively, COD removal efficiency was up to 99%; the effluent BOD<sub>5</sub>, ammonia nitrogen and total phosphorus were 18.0, 6.50 and 0.386 mg/L respectively. The effluent quality could meet the influent standard of industrial park sewage centralized treatment plant.

**Key words:** wastewater from extraction of Chinese traditional medicine; high efficient anaerobic reactor; UCT; methane

中医药在我国医药领域举足轻重,其需求量日益增长。中医药提取物生产过程中会产生大量的废

基金项目: 江苏省博士后科研资助计划项目(1501128C); 江苏省环保厅2015年度省级专项资金和江苏省科技厅2015年产业前瞻后补助项目

通信作者: 张炜铭 E-mail: zhangwm@nuep.com.cn

水,主要成分包括多糖类、植物蛋白、生物碱、甙类、木质素、色素等。废水具有悬浮物多、机物浓度高、成分复杂、可生化性一般等特点<sup>[1,2]</sup>。

国内外研究表明,中医药废水处理工艺主要包括厌氧单元和好氧单元<sup>[3~16]</sup>。厌氧单元是去除中医药废水中溶解性有机物的主要工艺,UASB、IC 等工艺应用较广泛,但是处理效率低,产气量较小,难以实现沼气资源化<sup>[5]</sup>。好氧单元通常采用 A<sup>2</sup>O 或改良工艺,一般的好氧生化技术难以强化降解水中有机物,出水水质难以稳定达标<sup>[7]</sup>。基于以上情况,结合中医药废水的特点及 IC、UCT 反应池的特征,研制并采用新型高效厌氧工艺+改良型 UCT 工艺处理此类废水,并实现废水达标排放。

新型高效厌氧反应器采用双塔式外循环系统,罐体采用超压设计,无贮气罐,无需安装任何生物/堆肥过滤或其他装置。该反应器有机物去除率较高,耐冲击负荷能力强,在水质水量波动大时能有效控制废水与颗粒污泥的充分混合。该厌氧单元占地面积少,单位体积产气量高,产气均匀。

改良型 UCT 生物脱氮除磷反应器在 UCT 工艺的基础上,强化了曝气效果,实施污泥预截留,采用了高比例内回流等技术手段。曝气软管采用新型连接方式和布置方式,可实现自动反冲洗、防堵塞、排污及不停车更换,其低通气量块状地毯式密集布置,可使氧的传递效率>35%,布气均匀,以最小的供气量达到最大的充氧效率,满足微生物供氧需求,节省运行能耗;通过模块化设计,将快速澄清装置内置于曝气区,省去常规的刮吸泥机或推流设备及污泥和

混合液的动力回流系统;采用新型气提泵内回流稀释技术,以空气为动力源,采用低能耗的新型气提泵替代传统机械泵回流的方式,实现更高比例的泥水混合液回流。

采用新型高效厌氧反应器和改良型 UCT 生物反应器对江苏某制药企业中药提取废水进行处理,考察组合工艺的运行效果,以期为中医药生产废水的处理及资源化利用提供新的思路。

## 1 工程概况

本项目总处理规模为 12 000 m<sup>3</sup>/d,分两期施工(一期水量为 6 000 m<sup>3</sup>/d,已于 2015 年 9 月启动运行,二期水量为 6 000 m<sup>3</sup>/d,已于 2016 年 1 月启动运行),总占地面积近 1.2 × 10<sup>4</sup> m<sup>2</sup>。废水主要来源于中药材前处理的清洗、蒸煮,提取工艺中的提炼、浓缩,以及残液倾倒、设备清洗过程等。进水水质及出水要求如表 1 所示。

表 1 进水水质及出水要求

Tab. 1 Influent and effluent quality

项 目	COD/ (mg · L <sup>-1</sup> )	BOD <sub>5</sub> / (mg · L <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N/(mg · L <sup>-1</sup> )	TP/ (mg · L <sup>-1</sup> )	pH 值
进水水质	15 000 ~ 25 000	4 000 ~ 7 000	150 ~ 300	5 ~ 15	5.0 ~ 9.0
出水要求	≤100	≤20	≤8	≤0.5	6.0 ~ 9.0

## 2 工艺流程

### 2.1 废水处理工艺流程

本项目要求在提升废水处理效果的同时,充分实现沼气资源化。根据水质特点,采用物化预处理与生物处理相结合的处理工艺,具体流程见图 1。

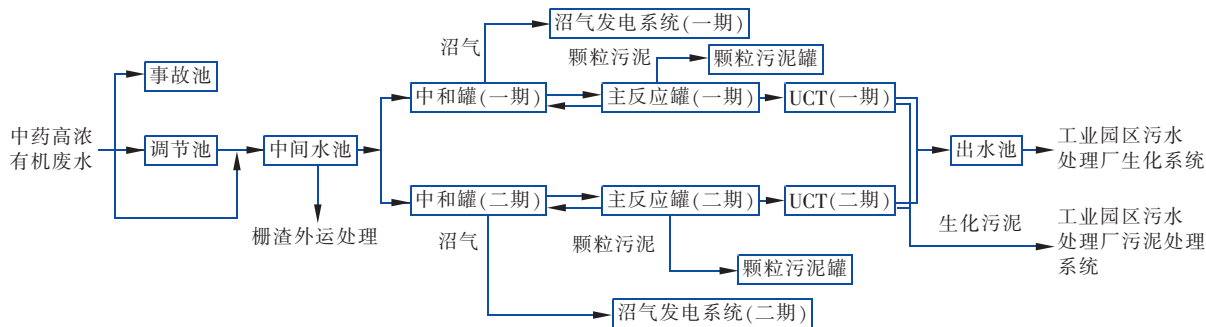


图 1 废水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process

首先,废水经过格栅去除大量的悬浮物和漂浮物(企业内部完成)。其次,经过预处理的废水进入预酸化调节池,通过机械搅拌将不同工段、不同时期

的废水进行调节,利用兼氧、厌氧菌的水解酸化作用降解部分有机物,提高废水的可生化性。由于厌氧菌对温度和 pH 值比较敏感,在预酸化调节池内设

有蒸汽加热和 pH 值调节系统。预酸化出水被提升至高效厌氧反应器,废水与颗粒污泥充分接触,经过水解、酸化、产乙酸、产甲烷过程,大部分有机物被降解生成  $\text{CH}_4$  和  $\text{CO}_2$  等物质,厌氧产生的沼气通过水封收集后进行发电。出水直接进入 UCT 好氧系统,经过微生物的作用,残余有机物被进一步降解,出水经过二沉池沉淀后,即可达到园区纳管标准。

## 2.2 沼气处理工艺流程

沼气处理工艺流程见图 2。沼气主要产自中药提取废水的厌氧发酵过程。首先,沼气经过颗粒过滤器过滤,其次,沼气进入生物脱硫塔底端,从底端穿过填料层到达顶部,利用专属嗜硫菌属、硫杆菌属等微生物的新陈代谢过程吸收含硫化合物,将含硫化合物转化为单质硫等。再进行干式脱硫,将含硫化合物进一步去除。脱硫后的沼气进入双膜气柜储存,最后经净化处理后进入发电机组发电。当发电机组等沼气使用设备因故检修或停用时,沼气去火炬燃烧。

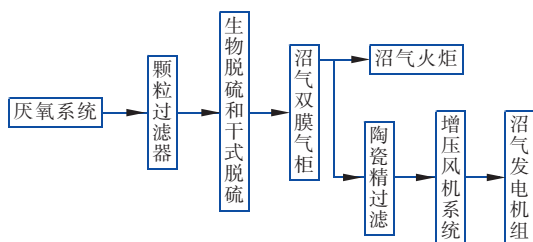


图 2 沼气处理工艺流程

Fig. 2 Flow chart of methane treatment process

## 3 主要构筑物及设计参数

### 3.1 高效厌氧反应器

高效厌氧反应器系统分两期建设,每期设计处理水量为  $6\,000\text{ m}^3/\text{d}$ 。高效厌氧反应器主要由中和罐和主反应罐组成,各一座,钢混结构。中和罐尺寸为  $\varnothing 5.5\text{ m}$ ,主反应罐尺寸为  $\varnothing 16.8\text{ m}$ ,罐体高度为  $21\text{ m}$ 。技术参数:COD 去除率为 95%,容积负荷为  $21.2\text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。

废水首先进入中和罐,在中和罐内与循环水进行调配,加入尿素、磷酸盐等营养物质及颗粒污泥促进剂,厌氧反应在主反应罐内发生,产生的沼气经过收集后进入沼气发电系统。

### 3.2 UCT 池

UCT 池一座,钢混结构,尺寸为  $54\text{ m} \times 30.5\text{ m} \times 6.3\text{ m}$ 。技术参数:HRT 为  $23.3\text{ h}$ ,容积负荷为

$1.24\text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ,污泥浓度为  $6 \sim 10\text{ g/L}$ ,溶解氧浓度  $\leq 0.5\text{ mg/L}$  或  $2 \sim 4\text{ mg/L}$ ,气提回流比不低于 20 倍,沉淀区表面负荷为  $1.6\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,最大供风量为  $63\text{ m}^3/\text{min}$ ,平均用气量为  $43\text{ m}^3/\text{min}$ 。

### 3.3 生物脱硫

生物脱硫塔一座,钢混结构,直径为  $3.6\text{ m}$ ,塔高为  $17\text{ m}$ ,塔容积约  $170\text{ m}^3$ 。技术参数:进气流量为  $1\,700\text{ m}^3/\text{h}$ , $\text{H}_2\text{S}$  浓度为  $3\,000\text{ mg/L}$ ,气体温度  $\geq 32\text{ }^\circ\text{C}$ ,沼气压力约  $3 \sim 4\text{ kPa}$ 。出气  $\text{H}_2\text{S}$  浓度  $\leq 100\text{ mg/L}$ ,气体温度约  $30 \sim 35\text{ }^\circ\text{C}$ ,压降为  $800 \sim 1\,200\text{ Pa}$ 。

### 3.4 发电系统

根据一期工程产生的沼气的量计算,本期工程安装沼气发电机组 5 台,总装机规模为  $3\,500\text{ kW}$ 。沼气发电机组产生的高温烟气余热进行综合利用,配套余热锅炉 5 台,单台额定蒸发量为  $550\text{ kg/h}$ ,加热水产生饱和蒸汽供生产使用。

## 4 工程启动及运行

### 4.1 高效厌氧反应器运行效果

该工程于 2015 年 10 月初建成并开始启动,启动成功后稳定运行。收集系统稳定后,高效厌氧反应器 2 个半月的 COD 运行数据如图 3 所示。

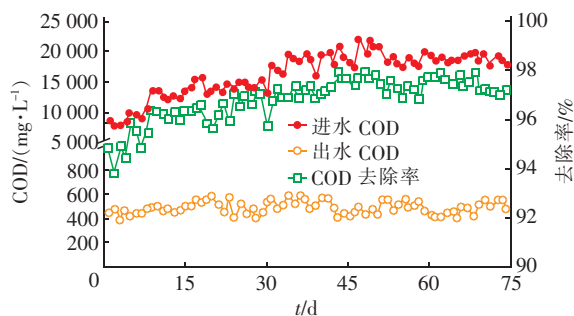


图 3 高效厌氧反应器进、出水 COD 及去除率

Fig. 3 Removal efficiency of COD for anaerobic reactor

系统进水 COD 为  $7\,800 \sim 21\,000\text{ mg/L}$ ,出水平均 COD 为  $491\text{ mg/L}$ ,去除率为 93% ~ 98%,容积负荷  $> 20\text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。另外,厌氧进水 SS 为  $400 \sim 500\text{ mg/L}$ ,经高效厌氧反应器处理后,出水 SS 平均为  $90\text{ mg/L}$ ,平均去除率达到 82.5%。

### 4.2 UCT 处理效果

厌氧出水直接进入 UCT 好氧生化系统,UCT 进、出水 COD 变化及去除率如图 4 所示。可以看出,进水 COD 为  $400 \sim 600\text{ mg/L}$ ,经过 20 天的运行,出水 COD 均低于  $100\text{ mg/L}$ ,COD 平均去除率在

80% 以上。分析认为有机物的减少是好氧段微生物降解和缺氧段反硝化共同作用的结果。

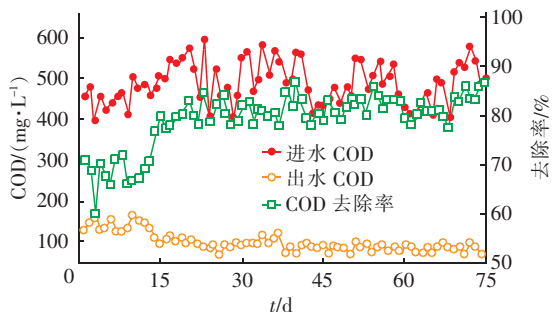


图 4 UCT 进、出水 COD 变化情况

Fig. 4 Removal efficiency of COD for UCT aerobic reactor

系统稳定运行后,出水氨氮浓度  $< 30 \text{ mg/L}$ ,总磷浓度  $< 3.0 \text{ mg/L}$ ,说明此系统具有良好的脱氮除磷功能。由 UCT 处理系统中 COD、氨氮及总氮的变化情况可知,各项指标均能符合设计进、出水水质要求,出水水质满足园区纳管标准,说明该工艺对中药废水有良好的去除效果。

#### 4.3 生物/干法脱硫系统

生物/干法脱硫系统启动调试运行时间为 2015 年 10 月初至 12 月底,图 5 为调试后期对  $\text{H}_2\text{S}$  的去除情况。可以看出,进口  $\text{H}_2\text{S}$  浓度平均为  $2\,529 \text{ mg/L}$ ,经过前两个月运行,出口  $\text{H}_2\text{S}$  浓度  $\leq 100 \text{ mg/L}$ ,脱硫效率逐渐稳定,均大于 90%,表明生物/干法脱硫系统稳定性好,能够长时间稳定运行。

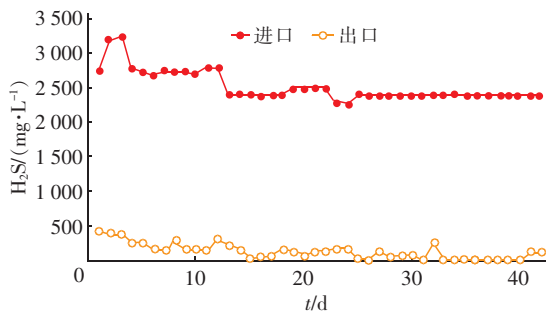


图 5 生物/干法脱硫系统进、出口  $\text{H}_2\text{S}$  浓度

Fig. 5 Concentration of the gas  $\text{H}_2\text{S}$  by biological/dry process desulphurization system

### 5 经济指标及环境效益分析

该工程一期投资为 7 099.55 万元,二期投资为 4 573.90 万元,总投资为 11 673.45 万元。

直接运行成本估算包括动力费、药剂费、人工费、污泥处理费及发电站运行费等,不包括设备折旧费。废水站年运行时间以 360 d 计,运行费用见表

2。换算至单位废水处理成本,一、二期工程分别为  $2.53 \text{ 元/m}^3$  和  $2.26 \text{ 元/m}^3$ 。

表 2 项目年运行费用

Tab. 2 The annual operation cost of the project 万元

项目	动力费	药剂费	人工费	污泥处理费	发电站运行费	合计
一期	226.01	127.44	36	84.24	72.28	545.97
二期	359.31	254.88	48	168.48	144.56	975.23

该项目的主要运行收益来自沼气发电和颗粒污泥销售收益,其中一期工程沼气发电收益为 1 428.84 万元,颗粒污泥收益为 413.1 万元,合计 1 841.94 万元;二期工程沼气发电收益为 2 857.68 万元,颗粒污泥收益为 826.2 万元,合计 3 683.88 万元。

### 6 结论

① 工程实践表明,采用高效厌氧-改良型好氧 UCT 工艺处理中药提取高浓有机废水,工艺流程简单,系统运行稳定、处理效果好、耐冲击负荷能力强。

② 经该工艺处理后,对 COD、氨氮、SS、总磷等平均去除率分别达到 98.8%、90.8%、82.5%、81.9%,最终出水水质稳定,优于园区污水处理厂的纳管要求。

③ 生物脱硫/干法脱硫系统运行稳定,进口  $\text{H}_2\text{S}$  浓度平均为  $2\,529 \text{ mg/L}$ ,经过两个月的调试运行,脱硫效率逐渐稳定,出口  $\text{H}_2\text{S}$  浓度  $\leq 100 \text{ mg/L}$ ,去除率  $> 90\%$ 。

④ 经济指标数据表明,通过高效厌氧技术实现了有机组分的资源化利用,产生清洁能源沼气综合利用,产生的颗粒污泥作为副产品销售,为中药提取废水处理的工程化推广应用提供了依据和借鉴。

### 参考文献:

- [1] 王珏. 中药废水处理技术探讨[J]. 广东化工, 2009, 36(4): 138-140.
- [2] 祝坚. 中药废水污染特点和治理研究进展[J]. 能源环境保护, 2007, 21(5): 15-17.
- [3] 任南琪, 高郁, 冯旻. 两相厌氧-好氧工艺处理中药生产废水[J]. 中国给水排水, 2003, 19(6): 72-73.
- [4] 于永翠. EGSB-A/O 组合工艺处理淀粉制糖生产废水的工程优化[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2014.
- [5] 方明中, 何慧, 林加成, 等. UASB/EGSB/IC 厌氧反应器研究进展[J]. 能源研究与管理, 2015, (2): 59-



- 61.
- [6] 左剑恶,王妍春,陈浩. 膨胀颗粒污泥床(EGSB)反应器的研究进展[J]. 中国沼气,2000,18(4):3-8.
- [7] 林家森,贺军,刘兴斌. 污水处理 $A^2/O$ 工艺优化与应用研究[J]. 给水排水,2007,33(S1):187-191.
- [8] 王白杨,胡翔宇,欧阳二明,等. 水解酸化+ $A/O$ +混凝沉淀工艺处理中成药废水工程实例[J]. 水处理技术,2014,40(8):115-117.
- [9] 黄海涛,魏彩春,魏明蓉,等. 水解酸化-SBR工艺处理中药废水的工程实践[J]. 工业水处理,2012,32(1):78-80.
- [10] 李晓婷. 水解酸化+接触氧化+絮凝沉淀工艺处理中药废水实例[J]. 工业水处理,2014,34(9):80-83.
- [11] 赵艳,赵英武,李凤亭. 中成药制药废水处理工程设计给水排水[J]. 给水排水,2004,30(11):47-49.
- [12] McKeown R M, Scully C, Mahony T, et al. Long-term (1243 days), low-temperature ( $4-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), anaerobic biotreatment of acidified wastewaters: Bioprocess performance and physiological characteristics [J]. Water Res, 2009, 43(6):1611-1620.
- [13] Scully C, Oflaherty V. Anaerobic biological treatment of phenol at  $9.5-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  in an expanded granular sludge bed (EGSB)-based bioreactor[J]. Water Res, 2006, 40(20):3737-3744.
- [14] 刘兴哲. EGSB工艺处理中药废水的运行效能及其颗粒污泥变化特性研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2013.
- [15] 宿程远,王恺尧,司马岩,等. 常温下双循环厌氧反应器处理中药废水的性能及污泥特性研究[J]. 水处理技术,2015,41(2):48-51.
- [16] 许琳科,曹文平,张永明,等. 利用 $A^2O$ 工艺处理中药类制药废水的研究[J]. 水处理技术,2010,36(12):71-73.



作者简介:汪林(1980-),男,安徽桐城人,博士后,主要研究方向为水污染控制。

E-mail:wanglin@nuep.com.cn

收稿日期:2016-06-27

## · 信息 ·

### 《中国给水排水》“海绵城市(Sponge City)”专栏开始征集论文

自2012年4月“海绵城市”概念首次提出以来,在短短几年间,我国的海绵城市建设工作取得了极大的发展,目前全国已有130多个城市制定了海绵城市建设方案,早期的试点城市也取得了丰富的实践经验。作为城市发展理念和建设方式转型的重要标志,我国海绵城市建设还将持续相当长的一段时间。为使海绵城市的设计理念、规划编制、标准规范、设计施工、相关基础设施、建设运营及融资、示范工程等内容第一时间在业内进行分享传播交流,并得到忠实记录和长期保存,本刊拟于2017年3月起开辟“海绵城市”专栏,将最新、最精彩的技术内容分享给读者。

从即日起开始征集有关“海绵城市”的优质原创论文,本刊承诺:

- 1、优先审稿,优先发表;
- 2、侧重应用,优稿优酬;
- 3、全彩印刷,不限篇幅;
- 4、精心编校,周期最短!

欢迎水利、规划、环保、市政、园林、景观等领域,与“海绵城市”建设有关的科研、规划、设计、施工、运行、管理等单位的技术人员踊跃投稿,占领技术高地,在《中国给水排水》提供的技术平台上留下坚实的足迹。

(本刊编辑部)